Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2019, Enero-Junio, Vol. (6) N° (1), pp. 17-26. ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei



POTENCIAL DE LA ADSORCION SOLAR PARA PRODUCIR HIELO EN LAGUAJIRA-COLOMBIA

POTENTIAL OF SOLAR ADSORPTION TO PRODUCE ICE IN THE GUAJIRA-COLOMBIA

Camargo Medina Aduar J., Quintero Baldovino José G. y Gutiérrez Ramírez Gail A.

Universidad de La Guajira, programa de Ingeniería Mecánica

Recibido: julio 21 de 2018 Aceptado: noviembre 20 de 2018

RESUMEN

La refrigeración por adsorción ha sido ampliamente estudiada a nivel mundial, por ofrecer un equipo alimentado solamente de energía solar, de aquí que las posibilidades en el territorio guajiro encierras interrogantes que deben ser abordados a la luz de la investigación académica. El análisis del potencial se sustenta en el coeficiente de desempeño (COP), y en el contexto guajiro la temperatura ambiente y radiación global mínima, ya que el ciclo depende de aspectos climáticos. La finalidad de este trabajo es precisamente analizar los resultados de la investigación dada en la universidad de la Guajira, alrededor del ciclo de refrigeración por adsorción, y, a partir de allí sustentar la propuesta de adoptar la tecnología –prototipo- en beneficio de comunidades indígenas vulnerables.

Palabras claves: Energía fotovoltaica, potencial, coeficiente de desempeño, adsorción.

ABSTRACT

Adsorption cooling has been widely studied worldwide, because it offers equipment powered only by solar energy, hence the possibilities in the Guajiro territory contain questions that must be addressed in the light of academic research. The analysis of the potential is based on the performance coefficient (COP), and in the Guajiro context the ambient temperature and minimum global radiation, since the cycle depends on climatic aspects. The purpose of this work is precisely to analyze the results of the research given at the University of La Guajira, around the adsorption refrigeration cycle, and, from there, to support the proposal to adopt the technology -prototype- for the benefit of indigenous communities vulnerable.

Keywords: Photovoltaic energy, potential, performance coefficient, adsorption.

1. INTRODUCCIÓN

La refrigeración por adsorción, se constituye en un campo alternativo en el desarrollo de energías no convencionales (Mahesh y Kaushik, 2012), a raíz de esto y del poder vivenciar como a través de los diferentes congresos científicos promovido por la universidad de la Guajira, existe un interés creciente en poder apropiar tecnologías orientadas a potenciar los recursos energéticos de los que dispone la geografía guajira, generando un direccionamiento de recursos humanos y técnicos hacía el desarrollo de ciencia y tecnología, buscando que la universidad sea referente de la costa Caribe, de lo cual se deriva que la construcción de un prototipo de equipo de refrigeración por

adsorción solar en beneficio de comunidades marginadas sería un excelente producto de la proyección social del alma mater.

La refrigeración por adsorción es un tema especializado y su divulgación es precisamente uno de los propósitos de este trabajo ya que a partir de la investigación denominado "Simulación computacional de la operación del refrigerador por adsorción en condiciones climáticas de Riohacha, La Guajira" se puede hacer tangible uno de los propósitos del quehacer científico, que es llevar soluciones a las diferentes problemáticas sociales, en esa medida la investigación ya referenciada estuvo perfilada a mirar el impacto funcional del equipo con las condiciones locales; es del interés en este trabajo en particular abordar las diferentes curvas de sensibilidad, las tablas que resultaron de la simulación y los gráficos de desempeño en los diferentes meses del año, tomando como referencia los parámetros de funcionamiento del equipo ya referenciado en diferentes investigaciones internacionales.

Se espera que con este trabajo se motive a realizar un mayor esfuerzo a investigadores y docentes del área de ingeniería mecánica a profundizar en la temática de adsorción, caracterización de los diferentes carbones activados cuyos precursores sean materiales nativos y abundantes en el departamento, posibilitando con ello una construcción de un equipo de refrigeración solar por adsorción con talento netamente guajiro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 NOMENCLATURA

Calor específico (kJ / kg K)
Coeficiente De Desempeño Del Refrigerador (Adimensional) Constante en D-A ecuación (1/K)
Entalpía (kJ / kg)
Calor isósterico de adsorción de la pareja (kJ / kg)
L Calor latente de vaporización de metanol (kJ / kg)
Masa (kg)
Presión (hPa, bar)
Presión de saturación (hPa, bar)
Calor total durante un ciclo (kWh, kJ)
Temperatura (K)
Capacidad máxima de Adsorción (kg kg) Concentración (kg / kg)
Densidad (kg / m3)
Irradiancia global directa en la superficie de un colector (kWh/m2/día) Superficie efectiva del colector (m2)
Los subíndices
a Adsorbente
c Condensador
eEvaporador
fFinal
gGenerador; Generado
iInicial
rRefrigerante
Sobrescrito
Índice constante en D-A ecuación

El trabajo de investigación referenciado (Camargo, et al.,), es el insumo principal de este artículo en el que se hace un análisis cuidadoso de los resultados y sus implicaciones para una futura investigación de diseño de un prototipo que es la fase lógica a seguir, el documento aborda los conceptos fundamentales de la adsorción, carbones activados (Wu, Jun W., S. Hadi Madani, Mark J. Biggs, Pendleton Phillip, Chen Lei, y Eric J. Hu, 2015) y la integración de ellos en un equipo de refrigeración, destacando como el ciclo y los parámetros son afectados por las condiciones locales de operación. El ciclo teórico desde la primera ley de la termodinámica es sintetizado en un modelo matemático, que es llevado al software matlab, que con el algoritmo y el posterior desarrollo del código –no presente en la literatura- el cual es comprobado con artículos de corriente principal (Omisanya, N.O., C. O. Folayan, S.Y. Aku, S.S. Adefila, y R.B.O Suleiman, 2013), posibilita incorporar los datos de las condiciones de temperatura y radiación en el distrito de Riohacha, para obtener como salida el COP y la irradiación global mínima, esto inmerso en curvas de sensibilidad apropiado para establecer como se optimiza el equipo con la variación de las condiciones meteorológicas.

2.2 EL CICLO DE CLAPEYRON

El diagrama de Clapeyron, en la figura 1, que es el que tipifica el ciclo de refrigeración por adsorción, es vital para entender la importancia de las gráficas obtenidas en los resultado y como se relaciona con los diferentes focos térmicos (Ti, Tg1,Tf y Tg2). La línea EC, representa la línea de saturación a partir del (NIST, «Methyl Alcohol, 2016) del metanol, la líneas AB y DF son las la isosteras y enfriamiento respectivamente, las líneas BD y FA, son las isobaras de desorción y adsorción, siendo en esta última donde se produce el efecto de enfriamiento.

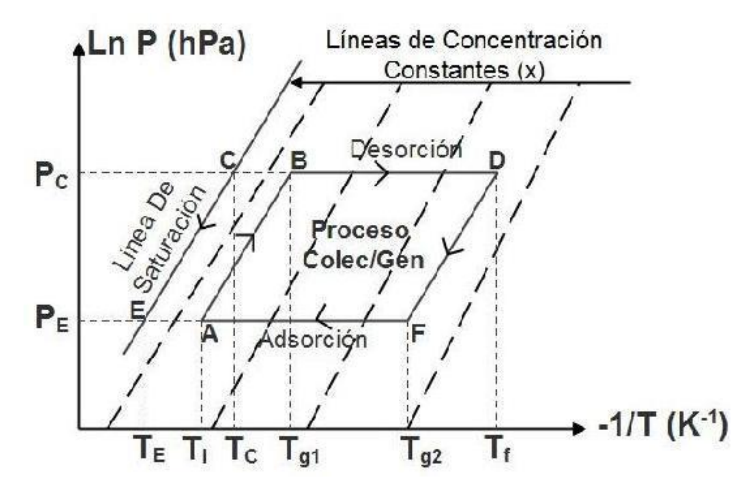


Figura 1 Diagrama (P-x-T) de Clapeyron del ciclo ideal de adsorción

2.3 PARÁMETROS Y VARIABLES OPERATIVAS APLICADAS EN EL MODELO.

De la tabla 1, se pueden ver los parámetros de ((Zhao, Yongling, Eric Hu, y Antoni Blazewicz, 2016), utilizados en la simulación del ciclo, de los cuales se destacan los que representan las temperaturas típicas del municipio de Riohacha, dentro de las cuales se tiene T_i que es la temperatura inicial del ciclo que en el distrito es típicamente de 35°C, T_e la temperatura indispensable para producir hielo en el evaporador, T_c que son tres temperaturas posibles en el condensador y T_f es la temperatura máxima que se alcanza en el colector generador.

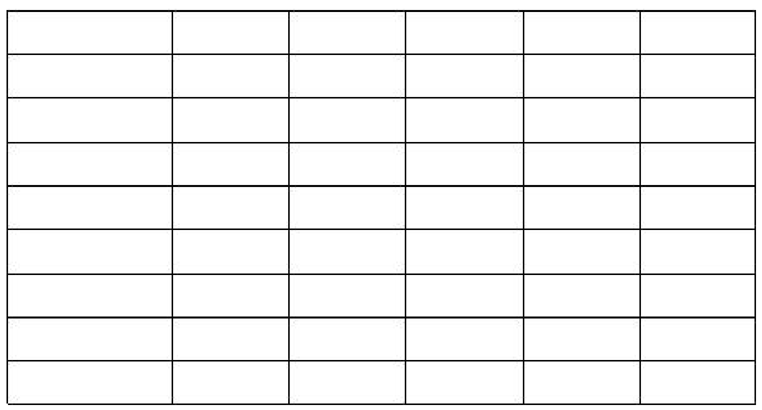


Tabla 1, Parámetros y variables operativas aplicadas en el modelo.

Entradas unidades Valores Entradas unidades Valores

Entradas	**unidades**	**Valores**	**Entradas**	**unidades**	**Valores**
D	K^-2	2,800E-05	L	kJ/kg	1100,03
N		1,650	H_des	kJ/kg	1400
x_o	kg/kg	0,4900	T_i	ºC	35
A	Ln hPa	5,20409	T_e	ºC	-5
B		1581,341	T_c	ºC	30, 35, 40
C	K	-33,5	T_f	ºC	[80,130]
Cp_a (WS 840)	kJ/kgK	0,93	m_a/A_c	kg/m^2	20
Cp_r	kJ/kgK	2,8302	efic.	%	30

2.4 GRÁFICAS DE LÍMITES PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA DEL CICLO.

El primer resultado gráfico del modelo es la figura 2, en éste, se evalúa con respecto a la temperatura máxima final el COP y calor útil, apreciando los límites de temperatura máxima final para efectos de lograr la refrigeración en el equipo. Una observación detallada de las gráficas muestra una intercepción en el punto (X=83,5 y Y= -0,009781), que para este caso específico es la cantidad 83, 5°C correspondiente a una temperatura máxima final que podría definirse como la mínima en la cual, el COP es positivo, por debajo de ese punto, lo negativo del COP indica que el equipo no está refrigerando, sino todo lo contrario, está agregando calor a la sustancia objetivo de refrigerar. De las mismas gráficas, se puede apreciar que el calor útil tiene una curva ascendente; pero, antes de llegar al valor mínimo señalado en la temperatura máxima, el calor útil es negativo; por tanto, es válido entender por qué es negativo el COP que es visible en el intervalo de temperatura máxima final de 75 a 80°C donde hay una caída abrupta del COP a valores negativos.

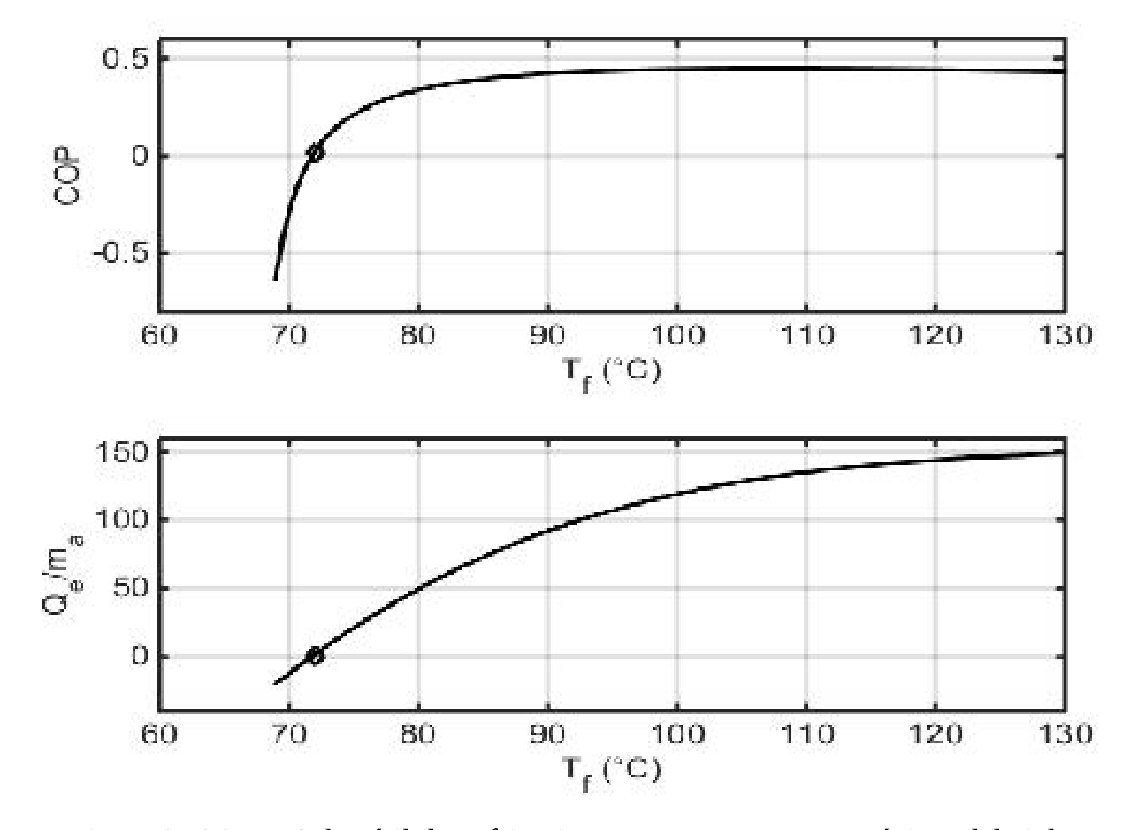
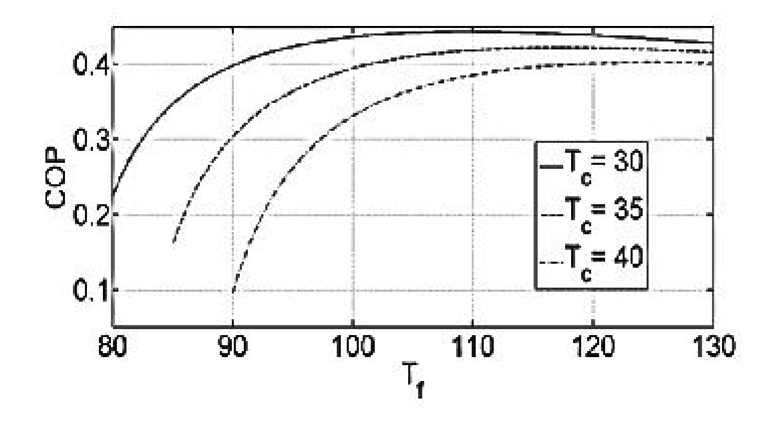


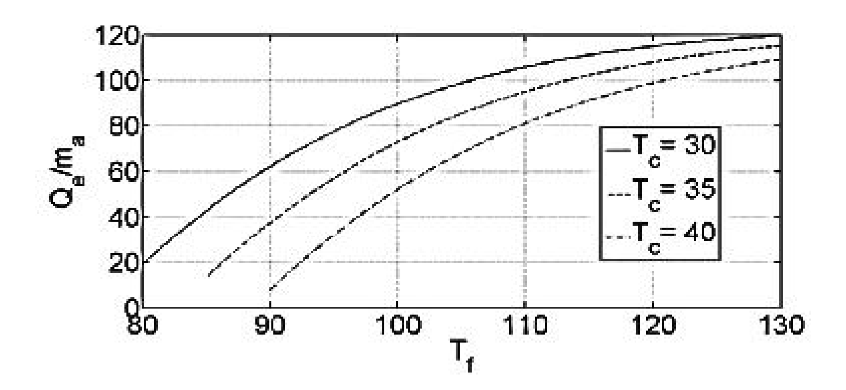
Figura 2, COP // Calor útil de enfriamiento Vs. Temperatura máxima del ciclo.

2.5 EFECTOS DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y DEL CONDENSADOR SOBRE EL DESEMPEÑO, Y LA IRRADIACIÓN SOLAR REQUERIDA POR EL CICLO.

En las figuras 3, 4 y 6, es notorio el efecto de la temperatura máxima del ciclo -T_f máx de desorción- sobre el desempeño en el COP, Qe, Mgen dado que, a mayor temperatura máxima final, las curvas presentes en cada figura muestran un mayor valor de estos tres parámetros mencionados confirmando una correlación, en el desempeño del equipo. Otro aspecto analizado de las gráficas es el efecto que tiene la temperatura de condensador sobre el desempeño, en los mismos parámetros COP, Qe, Mgen, mostrando como a menor temperatura de condensador las variables mencionadas tienen mayores valores, incrementando la utilidad del equipo. En la figura 5, donde se asocia la irradiación mínima analizada frente a tres temperaturas (30, 35 y 40°C) de condensador es claro la existencia de incremento de la irradiación mínima a medida que aumenta la temperatura máxima final, característica presente en los demás gráficos; pero, también, es notorio de las tres curvas en la gráfica 5 que a menor temperatura de condensador, se requiere mayor absorción de irradiación solar, dejando evidente la importancia a la hora de entender la estructura del colector.

El comportamiento evidenciado en las gráficas constata mayor rendimiento de los parámetros al disminuir la temperatura en el condensador.





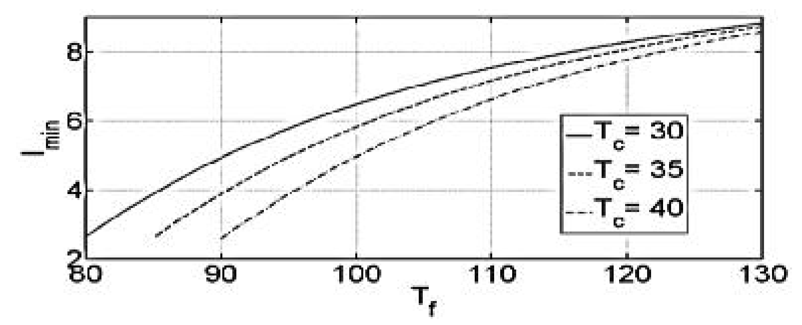


Figura 3. COP en función de la temperatura Máx.f

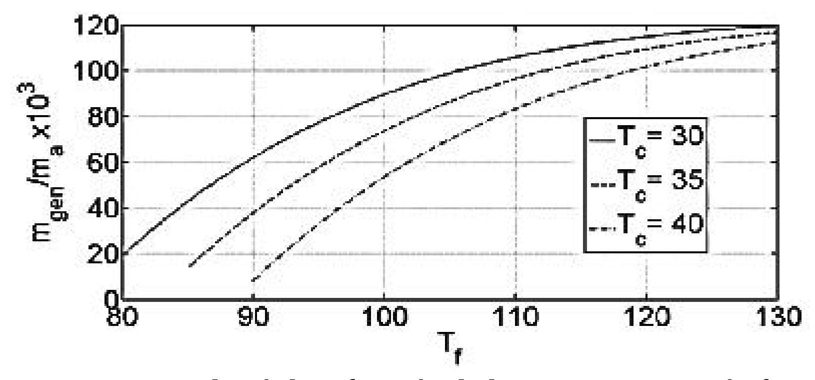


Figura 4. Calor útil en función de la Temperatura Máx.f

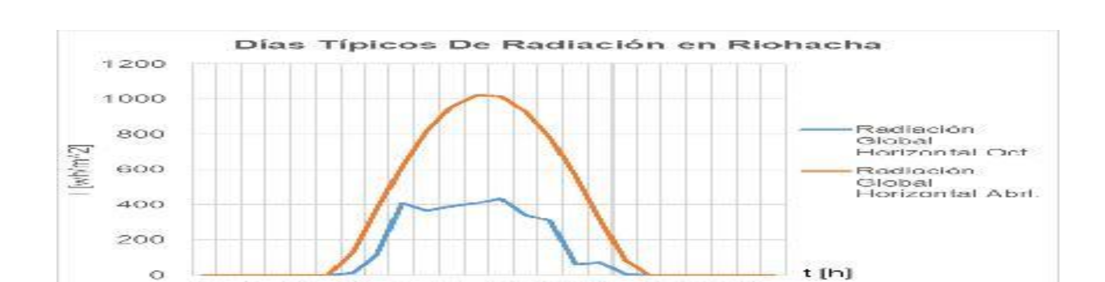
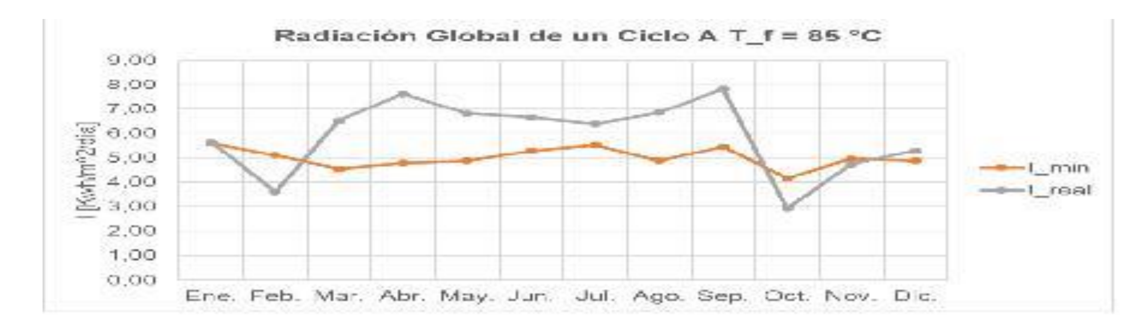
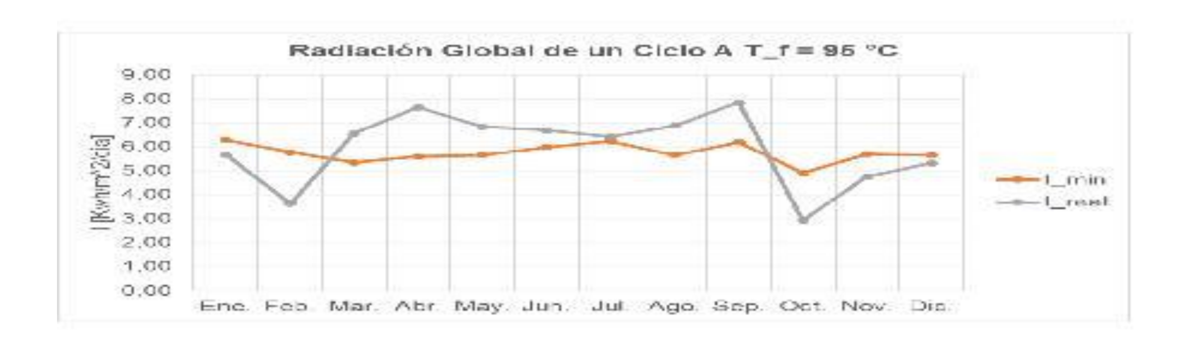




Figura 5. Radiación min. en función de la Temperatura Máx.f





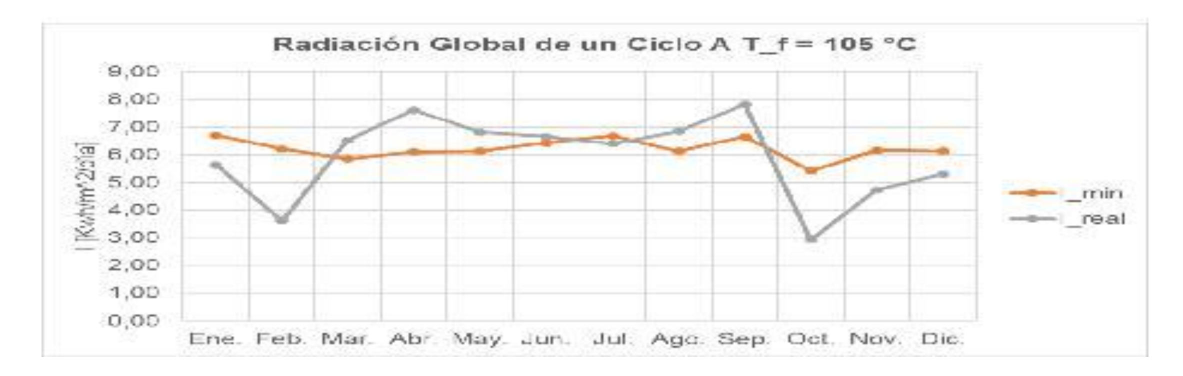


Figura 6. Masa de refrig. en función de la Temperatura Máx.f

2.6 TABLA DEL DESEMPEÑO E IRRADIACIÓN PARA UN CICLO VS. TEMPERATURAS EN DIFERENTES DÍAS TÍPICOS EN C/U DE LOS MESES EN EL DISTRITO DE RIOHACHA

Para las condiciones meteorológicas locales, se hizo un promedio de la temperatura y la irradiación solar en el municipio con los datos del software Meteonorm, tabulados cada hora durante un día típico por mes en el año 2013. Desde este punto se introdujeron los parámetros la T_i y T_c con lo cual, se corrió el programa dando los resultados de la tabla 2. Se aclara que los demás datos de entrada en esta tabla, son los presentados en la Tabla 1.
Los valores registrados para los parámetros de cada mes son tres, a partir de T_f hasta I_min, correspondientes a los resultados de evaluar el modelo en tres valores de T_f que, en el análisis de sensibilidad de la figura 3, se experimenta el COP más elevado. El COP es un criterio principal al diseñar una máquina térmica (Qasem, Naef A A, y Maged A I El-Shaarawi, 2013), y fue lo que se tuvo en cuenta para establecer dichos valores, y, así, en la ejecución del programa, obtener los demás valores registrados, en la tabla. El parámetro de I_real, tomada de Meteornorm corresponde a un promedio y se trata de una referencia comparativa frente a la I_min arrojada por el programa.

Una relación de estos parámetros crea la última columna que representa una medida de la seguridad relativa con el propósito de producir hielo en el refrigerador para las condiciones climáticas imperantes durante el mes especificado.

Tabla2. Resultados de la simulacion con la climatologia de Riohacha

		Efic	0,4		m_a/A_c	20			
		T_e	-5		Kj/kg	kwh/m^2	kwh/m^2/dia		
Mes	T_I	T_c	T_f	COP	Q_e		I_min	I_real	I_real/I_min
Ene.	19,2	24,37	85	0,54	219,69	1,22	5,61	5,633	1,00
			95	0,54	244,83	1,36	6,26		0,90
			105	0,54	259,26	1,44	6,71		0,84
Feb.	21,6	24,75	85	0,54	197,73	1,10	5,11	3,603	0,71
			95	0,54	222,88	1,24	5,76		0,63
			105	0,53	237,31	1,32	6,20		0,58
Mar.	22,3	28,31	85	0,51	167,32	0,93	4,55	6,523	1,43
			95	0,52	198,79	1,10	5,33		1,22
			105	0,52	217,66	1,21	5,86		1,11
Abr.	21,3	28,35	85	0,52	177,88	0,99	4,79	7,614	1,59
			95	0,52	209,35	1,16	5,57		1,37
			105	0,52	228,22	1,27	6,10		1,25
May.	21,2	27,97	85	0,52	183,14	1,02	4,88	6,818	1,40
			95	0,53	212,97	1,18	5,62		1,21
			105	0,52	230,65	1,28	6,13		1,11
Jun.	20,3	25,8	85	0,54	203,92	1,13	5,28	6,657	1,26
			95	0,54	230,58	1,28	5,96		1,12
			105	0,53	246,05	1,37	6,43		1,04
Jul.	19,8	25,25	85	0,54	214,96	1,19	5,53	6,402	1,16
			95	0,54	241,62	1,34	6,22		1,03
			105	0,53	257,09	1,43	6,68		0,96
Ago.	21,9	27,64	85	0,52	183,14	1,02	4,88	6,852	1,40
			95	0,53	212,97	1,18	5,62		1,22
			105	0,52	230,65	1,28	6,13		1,12
Sep.	19,6	26,44	85	0,53	210,03	1,17	5,46	7,816	1,43
			95	0,54	238,26	1,32	6,17		1,27
			105	0,53	254,81	1,42	6,66		1,17
Oct.	24,6	27,59	85	0,51	152,02	0,84	4,16	2,924	0,70
			95	0,52	181,85	1,01	4,90		0,60
			105	0,51	199,54	1,11	5,41		0,54
Nov.	21,2	26,3	85	0,53	188,20	1,05	4,96	4,736	0,96
			95	0,53	216,42	1,20	5,67		0,84
			105	0,53	232,98	1,29	6,16		0,77
Dic.	21,6	27,14	85	0,52	183,14	1,02	4,88	5,3	1,09
			95	0,53	212,97	1,18	5,62		0,94
			105	0,52	230,65	1,28	6,13		0,86

2.7 GRÁFICOS DEL COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA Y RADIACIÓN DURANTE UN DÍA TÍPICO EN RIOHACHA.

Las figuras 7 y 8 registran el comportamiento de un día típico de los meses de abril y octubre, los cuales, de acuerdo con la tabla 16 presentan, según la columna de seguridad relativa, mayor y menor posibilidad de producir hielo; el mayor valor es 1,59 en el mes abril y el menor 0.70 en octubre.

Los gráficos son importantes; pues, son referentes para entender la incidencia de los parámetros visualizados en el desempeño del equipo en las condiciones de Riohacha.

2.7 GRAFICAS COMPARATIVAS DE I_REAL E I_MIN.

Finalmente los gráficos de la figura 9,10 y 11; es una comparación del comportamiento de la I_real e I_min, con T_f de 85, 95 y 105°C, durante un año y permitió constatar 8 meses, en que el equipo con las condiciones establecidas en esta investigación, puede producir hielo, indicando utilidad práctica del 66%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de sensibilidad indica una fuerte dependencia en el desempeño de la temperatura de condensador, información útil en el diseño.

En la figura 2, se evidencia la existencia de una temperatura mínima dentro de los valores que puede tener la temperatura máxima final, indicando como por debajo de esa temperatura mínima, el equipo no cumple la función de refrigerar y, por el contrario, añade calor a la cámara del evaporador.

los resultados muestran que la radiación y la temperatura promedio en Riohacha son favorables para el desempeño de un equipo de refrigeración por adsorción, alcanzando COP promedio de 0.52 a lo largo de un año, alto para este tipo de equipos.
Los meses: octubre, noviembre y diciembre son críticos para la producción de hielo, mientras que los meses restantes lucen óptimos para el desempeño requerido.

4. CONCLUSIONES

Debido al análisis del modelo en estado estacionario es útil un estudio más profundo para realizar un modelo en estado transitorio.
Evaluar las propiedades de adsorción asociando las condiciones de temperaturas al fenómeno.
Evaluar las condiciones de los carbones activados locales, teniendo como pareja al metanol.
Analizar con las condiciones particulares otro tipo de parejas para el caso de temperaturas mayores a las de congelación.
Una línea que apoya mayor grado de certidumbre en cuanto al diseño de un prototipo es complementar esta investigación con un análisis de segunda ley.
Debido al papel fundamental del colector como dispositivo térmico, sería importante estudiar el desempeño de diferentes tipos de colectores.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anyanwu, E.E., y N.V. Ogueke. «Thermodynamic design procedure for solid adsorption solar refrigerator». Renewable Energy 30, no. 1 (enero 2005): 81-96. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148104001831.

Camargo, A.J; Quintero, J.Q & Gutiérrez, G.A. «Simulación computacional de la operación del refrigerador por adsorción en condiciones climáticas de Riohacha, la guajira» (2017).

H.Z. Hassan, «A Solar Powered Adsorption Freezer: A Case Study for Egypt's

Climate», International Journal of Energy Engineering 3, n.o 1 (2013): 21-29, http://article.sapub.org/10.5923.j.ijee.20130301.04.html.

Mahesh, A., y S. C. Kaushik. «Solar adsorption cooling system: An overview».

Journal of Renewable and Sustainable Energy 4, no. 2 (2012): 22701-1-22701-20. http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jrse/4/2/10.1063/1.3691610.

NIST. «Methyl Alcohol». webbook.nist. Last modified 2016.

Omisanya, N.O., C. O. Folayan, S.Y. Aku, S.S. Adefila, y R.B.O Suleiman. «Comparison of Experimental Measurements and Simulation of Solar (Zeolite4A- Water) Adsorption Refrigerator Using Trnsys and Matlab Softwares». Review of Applied Physics 2, no. 4 (2013): 114-127.

Qasem, Naef A A, y Maged A I El-Shaarawi. «Improving ice productivity and performance for an activated carbon/methanol solar adsorption ice-maker». Solar Energy 98 (2013): 523-542.http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.018.

Trujeque J, «Diseño de Refrigerador Solar por Adsorción para Clima Cálido Humedo.» (2010).

Wu, Jun W., S. Hadi Madani, Mark J. Biggs, Pendleton Phillip, Chen Lei, y Eric J. Hu. «Characterzations of Activated Carbon-Methanol Adsorption Pair ncluding the Heat of Adsorptions». Journal of Chemical and Engineering Data 60, no. 6 (2015): 1727-1731.

Zhao, Yongling, Eric Hu, y Antoni Blazewicz. «A comparison of three adsorption equations and sensitivity study of parameter uncertainty effects on adsorption refrigeration thermal performance estimation». Heat and Mass Transfer 48, no. 2 (febrero 3, 2012): 217-226. Accedido octubre 23, 2016. http://link.springer.com/10.1007/s00231-011-0875-8..